Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.1, Spring 2020, P. 91-106
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۶-۹۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

بهبود تحمل به شوری و جذب عناصر غذایی در فلفل دلمه‌ای با کاربرد اسید سالسیلیک و اسید هیومیک

محمد کاظم شفازاده شهربابکی[1]*- مهدی حسینی فرهی[2]- غضنفر محمدی نیا[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲

چکیده

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدود کننده رشد می‌باشد که آثار بسیار نامطلوبی بر رشد و عملکرد گیاهان می‌گذارد. به منظور بررسی تأثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر بهبود تحمل به شوری و میزان جذب عناصر معدنی در فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل (سه فاکتوره) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در یک گلخانه تجاری در شهر یاسوج انجام گرفت. فاکتور اول سالسیلیک اسید در سه سطح صفر، یک و دو میلی‌مولار، فاکتور دوم هیومیک‌اسید در دو سطح صفر و ۵ در هزار و فاکتور سوم شوری آب آبیاری در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نمک کلریدسدیم بود. صفاتی از قبیل ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد گل، تعداد میوه، متوسط وزن میوه، عملکرد کل، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و غلظت عناصر معدنی پتاسیم، کلسیم، آهن و سدیم در ریشه و برگ فلفل اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری بر کاهش پارامترهای رشدی گیاه فلفل داشت. کاربرد هیومیک‌اسید و سالسیلیک‌اسید باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری گردید به‌طوری‌که در اکثر صفات باعث بهبود خصوصیات کمی فلفل گردید. میزان جذب عناصر معدنی پتاسیم، کلسیم و آهن با کاربرد سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید در شرایط تنش شوری افزایش یافت. بنابراین کاربرد هیومیک‌اسید و سالسیلیک‌اسید می‌تواند در بهبود تحمل به شوری در گیاه فلفل دلمه‌ای مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آهن، پتاسیم، تعداد میوه، عملکرد، کلسیم

مقدمه

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) یکی از سبزیجات مهم خانواده بادمجانیان که به دلیل ارزش اقتصادی بالا و دارا بودن ترکیبات ارزشمند غذایی و دارویی از جمله رنگ‌های طبیعی، ترکیبات آنتی اکسیدانتی و ویتامین‌های آ، ب و ای سطح زیر کشت و مصرف آن در جهان رو به افزایش است (۴۲). این محصول از نظر مقدار میزان تولید ویتامین ث بعد از جعفری بیشترین مقدار را در بین سبزیجات دارا می‌باشد و از نظر افزایش مقاومت بدن به بیماری‌ها و فیزیولوژی تغذیه این محصول بسیار با ارزش است (۲). تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهنده رشد گیاهان است و در حال حاضر یک سوم زمین‌های تحت کشت دنیا را تحت تأثیر قرار داده است و باعث کاهش رشد، توسعه و تولید گیاهان در سراسر دنیا می‌شود (۶ و ۳۷). این گیاه از نظر مقاومت به شوری در گروه گیاهان حساس و نیمه حساس به شوری می‌باشد (۸). در پژوهشی کاهش در پارامترهای رویشی گیاه فلفل تحت تنش شوری مشاهده گردید (۴۷). کاهش وزن تر و خشک برگ و ریشه و همچنین درصد محتوی آب ریشه و برگ در گیاه فلفل با اعمال تنش شوری و کم آبیاری توسط سالاریان و همکاران (۳۳) گزارش شده است.

آثار ناشی از تنش شوری بر گیاهان شامل سمیت یونی، تنش اسمزی، کمبود عناصر معدنی، تغییرات متابولیکی، کاهش فعالیت کلروپلاستی، کاهش سرعت فتوسنتز و افزایش سرعت تنفس نوری و اختلالات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌باشد (۳۱ و ۳۴). شوری به دلایل تاثیر بر فراهمی عناصر غذایی، تاثیر در جذب رقابتی و تاثیر بر انتقال عناصر غذایی در گیاه موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. در حال حاضر افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از راه‌های مختلف شامل به‌نژادی و استفاده از تنظیم کننده‌های رشد عملی است. در مقایسه با روش‌های به نژادی که اغلب

۱ و ۳- مربیان، گروه زراعت، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: shefazadeh@gmail.com)
۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i1.80187

بلندمدت و هزینه‌بردار هستند، استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی مثل سالیسیلیک‌اسید آسان‌تر و ارزان‌تر است (۴). سالیسیلیک‌اسید به عنوان یک مولکول پیام‌رسان مهم، نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش‌های غیر زنده مثل شوری و تنش اسمزی ایفا می‌نماید. این ماده، با کاربرد بیرونی، در برخی از مراحل فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاه دخالت دارد (۱۴). برخی پژوهشگران نقش سالیسیلیک‌اسید را در رشد گیاهان تحت تنش‌های غیرزنده شامل تنظیم نمودن روابط آبی گیاه، کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها و فتوسنتز و همچنین جذب عناصر غذایی بیان کرده‌اند (۱۸). بهبود پارامترهای رشدی، افزایش عملکرد، محتوی رطوبت نسبی و کلرفیل گیاه فلفل تحت تنش شوری با کاربرد سالیسیلیک‌اسید توسط امیرنژاد و همکاران (۵) گزارش گردید. همچنین کاهش اثرات مضر شوری در گیاه فلفل با کاربرد مزرعه ای سالیسیلیک‌اسید توسط قادوس (۲۹) گزارش شده است. در پژوهشی کاربرد سالیسیلیک‌اسید در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط تنش شوری بر رشد و فتوسنتز انگور مثبت و گزارش شده که این ماده می‌تواند به عنوان یک تنظیم کننده رشد، باعث افزایش مقاومت گیاه به شوری گردد (۴). بهبود رشد کمی و کیفی گیاه بادمجان تحت تنش شوری با کاربرد سالسیلیک‌اسید توسط رقامی و همکاران (۳۰) گزارش شده است. استفاده از سالیسیلیک اسید به صورت محلول‌پاشی برگی روی برگ‌های خیار، میزان وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، قطر ساقه و تعداد برگ را درگیاهان تحت تنش شوری نسبت به شاهد افزایش داد (۴۵). در پژوهشی کاربرد سالیسیلیک‌اسید در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، توانست اثر منفی تنش شوری بر رشد گیاه توت فرنگی را کاهش دهد (۱۵). در پژوهشی تنش شوری باعث کاهش اکثر شاخص‌های رشدی در ارقام فلفل دلمه ای گردید. همچنین مقدار سدیم با شاخص‌های رشدی، نسبت پتاسیم به سدیم و نسبت کلسیم به سدیم در همهٔ ارقام همبستگی منفی و معناداری داشت و در بین ارقام مورد بررسی، ارقام 'پارامو'، 'افستس' و 'اسپادی'، متحمل‌ترین ارقام فلفل به شوری بودند (۴۶). جمالی و همکاران (۲۳) در پژوهشی گزارش دادند که افزایش سطوح مختلف شوری منجر به کاهش تمامی صفات رویشی شد بطوری‌که افزایش شوری منجر به کاهش وزن تر میوه و عملکرد به میزان ۵۰/۵ و ۴۸/۴ درصد گردید. در پژوهشی دیگر کاهش معنی‌دار تعداد میوه، وزن تر و خشک میوه و ارتفاع بوته فلفل سبز با افزایش شوری توسط سجادی و همکاران (۳۲) گزارش گردید.

یکی از اثرات مثبت هیومیک‌اسید تحریک و تشویق توسعه ریشه می‌باشد. مواد هیومیکی به عنوان یک جزء مهم خصوصیات باروری خاک و کنترل ویژگی‌های بیولوژیکی و شیمیایی محیط ریزوسفر می‌باشد (۴۳). استفاده از هیومیک اسید به عنوان یک روش ساده و اقتصادی برای کاهش مشکلات تولید فلفل در خاکهای با شوری متوسط پیشنهاد شده است (۱۰). تأثیر مثبت اسید هیومیک بر کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه توت فرنگی توسط حسینی فرهی و همکاران (۲۱) گزارش شده است. در پژوهشی کاربرد هیومیک اسید تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب عناصر معدنی پتاسیم، کلسیم، آهن، منیزیوم و روی در گیاه فلفل تحت تنش شوری داشت (۴۰). سانچز-سانچز و همکاران (۳۵) نشان دادند که کاربرد مواد هیومیکی جذب آهن را به وسیله‌ی درختان لیمو بهبود بخشید. عامری و تهرانی فر (۳) گزارش نمودند که کاربرد اسید هیومیک در توت فرنگی به طور معنی‌داری جذب آهن و روی را هم در برگ‌ها و هم در ساقه‌ها تحت تأثیر قرار داد اما تجمع آهن و روی در غلظت‌های بالاتر در برگ‌ها کاهش یافت. بهبود خصوصیات کمی و کیفی و جذب عناصر معدنی در گل رز با کاربرد هیومیک اسید توسط حسینی و همکاران (۲۰) و دستیاران و حسینی فرهی (۱۲) گزارش شده است. افزایش ویژگی‌های کمی و کیفی توت فرنگی رقم 'اروماس' با مصرف هیومیک‌اسید نیز گزارش شده است (۱۹). با توجه به کاهش منابع آب شیرین و کاهش کیفیت آب و شور شدن آب‌های مورد استفاده در کشاورزی این پژوهش با هدف بهبود تحمل به شوری و افزایش جذب عناصر معدنی در فلفل دلمه‌ای با کاربرد سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نشاءهای فلفل دلمه‌ای رقم 'کالیفرنیا' از یک تولید کننده تجاری تهیه و در یک گلخانه تجارتی هیدروپونیک واقع در روستای نره‌گاه شهر یاسوج دارای سیستم خنک کننده پوشال و پنکه، در گلدان‌های پلاستیکی چهار لیتری حاوی محیط کشت پرلایت و کوکوپیت به نسبت مساوی در سال ۱۳۹۴ کشت گردید. در گلخانه، دمای روز و شب ۳± ۲۴ و ۴±۱۵ درجه سلسیوس، نور طبیعی خورشید و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۸۰ درصد بود. پس از استقرار گیاهان (داشتن حدود ۴-۵ برگ) به منظور اعمال تنش شوری از نمک کلرید سدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در محلول غذایی استفاده شد. برای جلوگیری از شوک ناگهانی ابتدا یک هفته همه گلدان‌ها با محلول غذایی حاوی ۱۰ میلی‌مولار و در هفته دوم با محلول غذایی حاوی ۲۵ میلی‌مولار نمک آبیاری شدند. بعد از آن ۵۰ و در نهایت به تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار از کلرید سدیم رسید. عناصر غذایی مورد استفاده در تهیه محلول غذایی مصرفی در گلخانه مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- عناصر غذایی مورد استفاده در تغذیه بوته‌های فلفل دلمه‌ای

Table 1- Elements used for preparing of nutrition solution for bell pepper

عناصر Elements	محتوی Content (g) 2500 litter nutrient	عناصر Elements	محتوی Content (g) 2500 litter nutrient
سولفات منیزیم Magnesium sulfate ($MgSO^4$)	650-2400	کلات آهن FeEDTA	125-300
کلات منگنز Manganese EDTA	15-48	کلات روی Zn EDTA	20-54
بور Born	3-10	کلات مس Cu ETDA	2-6
مولیبدات سدیم Sodium molybdate (Na_2MoO_4)	0.5-1	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate $(NH_4)(NO_3)$	0-25
منوپتاسیم فسفات Monopotassium phosphate (KH_2PO_4)	750-1800	نیترات پتاسیم Potassium nitrate (KNO_3)	900-1000
سولفات پتاسیم Potassium sulfate (K_2SO_4)	250-600	نیترات کلسیم Calcium nitrate ($Ca(NO_3)_2$)	1140-1500

آبیاری گیاهان با محلول های شوری تا پایان دوره آزمایش ادامه یافت. برای تیمار شاهد، فقط آبیاری با محلول غذایی انجام گرفت. نحوه آبیاری به گونه‌ای بود که حدود ۲۰ درصد محلول از ته گلدان‌ها خارج می‌شد و نیز یکبار در هفته عمل آبشویی گلدان‌ها با آب معمولی انجام گرفت. همزمان با شروع تنش شوری، تیمار هیومیک‌اسید در غلظت‌های صفر و ۵ در هزار در محلول آبیاری نیز به گلدان‌ها اضافه گردید و تیمار سالیسیلیک‌اسید نیز در غلظت‌های صفر، یک و دو میلی‌مولار به صورت محلول‌پاشی سه مرتبه تا پایان دوره آزمایش استفاده گردید. این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و ۳ تکرار صورت گرفت.

پارامترهای مورد اندازه‌گیری

صفات کمی از قبیل ارتقاع گیاه، تعداد برگ، تعداد گل، تعداد میوه، متوسط وزن میوه، متوسط عملکرد بوته (در یک دوره دو ماهه به صورت تجمعی)، متوسط طول و عرض میوه اندازه‌گیری گردید. شاخص سبزینگی برگ با دستگاه کلروفیل متر دستی (مدل SPAD 520- Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه و شاخساره ابتدا گلدان‌ها آبیاری سپس به کمک تکان دادن بوته‌ها و به گونه‌ای که آسیب نبینند، کل بوته‌ها از گلدان‌ها خارج، سپس به کمک شستشو با آب بقایای محیط کشت روی ریشه‌ها شسته و ریشه‌ها و شاخساره‌ها با کمک ترازوی دیجیتال توزین شدند. پس از آن بقایای ریشه و شاخساره به آزمایشگاه منتقل و در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت دو روز به صورت کامل خشک و سپس وزن خشک ریشه‌ها و شاخساره‌ها یادداشت شد. جهت اندازه‌گیری عناصر آهن، سدیم، کلسیم و پتاسیم نمونه‌هایی از برگ و ریشه گیاهان تیمار شده جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه‌ها توسط دستگاه ماکروویو مدل Mileston Microsynch آماده‌سازی (هضم) گردید (۲۱) و سپس توسط دستگاه جذب اتمی مدل (Perkin Elmer 900T) مجهز به سیستم کوره گرافیتی اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون توکی و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر ویژگی‌های رویشی فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که تأثیر تیمارهای بکار برده شده به همراه اثرات متقابل آن‌ها بر شدت سبزینه برگ معنی‌دار نگردید (جدول ۲). تأثیر شوری و برهمکنش سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر تعداد برگ فلفل دلمه‌ای معنی‌دار بود. افزایش شوری باعث کاهش تعداد برگ گردید طوری‌که با افزایش میزان شوری تعداد برگ کاهش پیدا کرد (شکل ۱). اما کاربرد هیومیک‌اسید و سالسیلیک‌اسید باعث افزایش تعداد برگ گردید. بیشترین تعداد برگ در گیاهان تیمار شده با سالسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار و هیومیک‌اسید ۵ گرم در لیتر در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر شوری بر وزن تر و

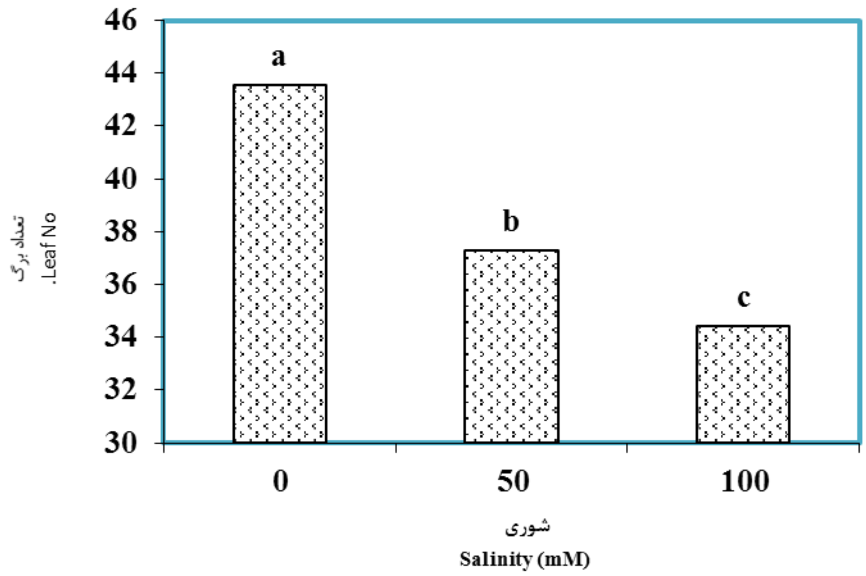
خشک اندام هوایی و ریشه فلفل در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید ولی اثر سایر تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه معنی‌دار نگردید (جدول ۲). افزایش سطح شوری باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه اندام هوایی فلفل گردید. بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان تیمار نشده (شاهد) در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده گردید (شکل ۲ الف و ب). وزن تر و خشک ریشه نیز تحت تأثیر شوری قرار گرفت بطوری‌که با افزایش سطوح شوری میزان وزن تر و خشک ریشه کاهش پیدا نمود. نتایج ارائه شده در شکل ۳ الف نشان می‌دهد که کمترین میزان وزن تر ریشه در گیاهان تیمار شده با شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده گردید. بیشترین وزن تر ریشه در گیاهان شاهد مشاهده گردید. با افزایش سطح شوری میزان وزن خشک ریشه در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد ولی این افزایش معنی‌دار نبود (شکل ۳ ب).

تأثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر ویژگی‌های زایشی گیاه فلفل تحت تنش شوری

نتایج بدست آمده در جدول ۴ نشان می‌دهد که افزایش شوری باعث کاهش تعداد گل فلفل گردیده است اما این کاهش معنی‌دار نبوده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیان می‌کند که کاربرد هیومیک‌اسید و سالسیلیک‌اسید باعث افزایش تعداد میوه گیاه فلفل در شرایط تنش شوری گردید. بیشترین تعداد میوه به مقدار ۲۲/۶ عدد در گیاهان تیمار شده با هیومیک‌اسید ۵ در هزار و سالسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار در مقایسه با سایر تیمارها بدست آمد. نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که افزایش شوری باعث کاهش تعداد میوه فلفل شده است. کاربرد هیومیک‌اسید و سالسیلیک‌اسید تاحدودی توانست اثرات منفی شوری را کاهش دهد ولی این تأثیر معنی‌دار نبود. عملکرد گیاه فلفل نیز تحت تاثیر شوری قرار گرفت به‌طوری‌که با افزایش سطح شوری میزان عملکرد گیاه فلفل کاهش پیدا نمود ولی کاربرد هیومیک‌اسید ۵ در هزار و سالسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار توانست میزان عملکرد را در شرایط شوری بهبود ببخشد (جدول ۵).

تأثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر محتوی عناصر معدنی در اندام هوایی و ریشه فلفل تحت تنش شوری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد هیومیک‌اسید و سالسیلیک‌اسید تأثیر معنی‌داری بر محتوی عناصر معدنی در برگ و ریشه گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری دارد (جدول ۶). نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که اثر سالسیلیک‌اسید، هیومیک‌اسید و شوری بر محتوی آهن برگ و ریشه گیاه فلفل معنی‌دار گردید. با افزایش غلظت شوری غلظت آهن برگ افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان آهن در برگ بوته‌های فلفل تیمار شده با شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کمترین میزان در گیاهان تیمار نشده مشاهده گردید. البته کاربرد سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید نیز در شرایط شوری باعث افزایش میزان محتوی آهن برگ گردید (جدول ۷).



شکل ۱- تأثیر شوری بر تعداد برگ در بوته فلفل دلمه‌ای

Figure 1- The effect of salinity on leaf No. per plant of bell pepper (Tukey, *p≤0.05*)

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر صفات رویشی و زایشی گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 2- ANOVA (means of squares) for the effect of salicylic acid and humic acid on vegetative and reproductive charactrictics of bell pepper under salt stress

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	وزن خشک ریشه Dry weight of root	وزن تر ریشه Fresh weight of root	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of arial parts	وزن تر کل بوته Fresh weight of whole plant	وزن تک میوه Fruit Weight	عملکرد کل Total yeild	تعداد گل Flower No.	تعداد میوه Fruit No.	تعداد برگ Leaf No.	ارتفاع بوته Plant hight	شدت سبزینگی SPAD
تکرار Replication	2	0.08	0.26	0.034	0.155	0.005	0.22	0.082	0.114	0.696	0.241	2.89
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (A)	2	0.04^{ns}	0.91^{ns}	0.05^{ns}	$0.24ield4^{ns}$	0.45^{**}	0.51^{ns}	1.44^{*}	0.09^{ns}	1.591^{ns}	70.13^{*}	11.57^{ns}
هیومیک اسید Humic Acid (B)	1	0.16^{ns}	0.58^{ns}	1.32**	2.35^{ns}	0.04^{ns}	0.001^{ns}	6^{**}	0.02^{ns}	0.48^{ns}	0.9^{ns}	41.43^{ns}
سالسیلیک اسید× هیومیک اسید A×B	2	0.2^{ns}	0.55^{ns}	0.3*	1.54^{ns}	0.16^{ns}	4.38^{ns}	1.29^{*}	0.74^{ns}	3.05^{*}	3.24^{ns}	4.15^{ns}
شوری Salt (C)	2	0.86*	4.18*	0.7*	3.55*	0.05^{ns}	9.96^{*}	0.32^{ns}	1.03^{ns}	2.59^{*}	29.46^{ns}	17.81^{ns}
سالسیلیک اسید×شوری A×C	4	0.17^{ns}	1.04^{ns}	0.02^{ns}	1.12^{ns}	0.32^{**}	0.43^{ns}	0.41^{ns}	0.44^{ns}	0.4^{ns}	18.85^{ns}	9.92^{ns}
هیومیک اسید×شوری B×C	2	0.2^{ns}	0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.30^{ns}	0.04^{ns}	2.05^{ns}	0.085^{ns}	0.38^{ns}	1.78^{ns}	2.79^{ns}	10.82^{ns}
سالسیلیک اسید× هیومیک اسید×شوری A×B×C	4	0.11^{ns}	0.93^{ns}	0.05^{ns}	0.9^{ns}	0.09^{ns}	1.7^{ns}	0.28^{ns}	0.12^{ns}	0.77^{ns}	46.46^{*}	20.08^{ns}
خطا Error	34	0.17	0.88	0.05	0.66	0.08	1.68	0.37	0.28	0.56	16.77	10.73
ضریب تغییرات CV %		18.02	19.97	10.11	11.6	11.26	22.92	17.84	22.62	12.24	10.54	11.64

ns, * and **: Non significant, Significant at the 5% and 1% probability levels using Tukey test, respectively.

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد.

جدول ۳- تأثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر تعداد برگ در گیاه فلفل دلمه‌ای

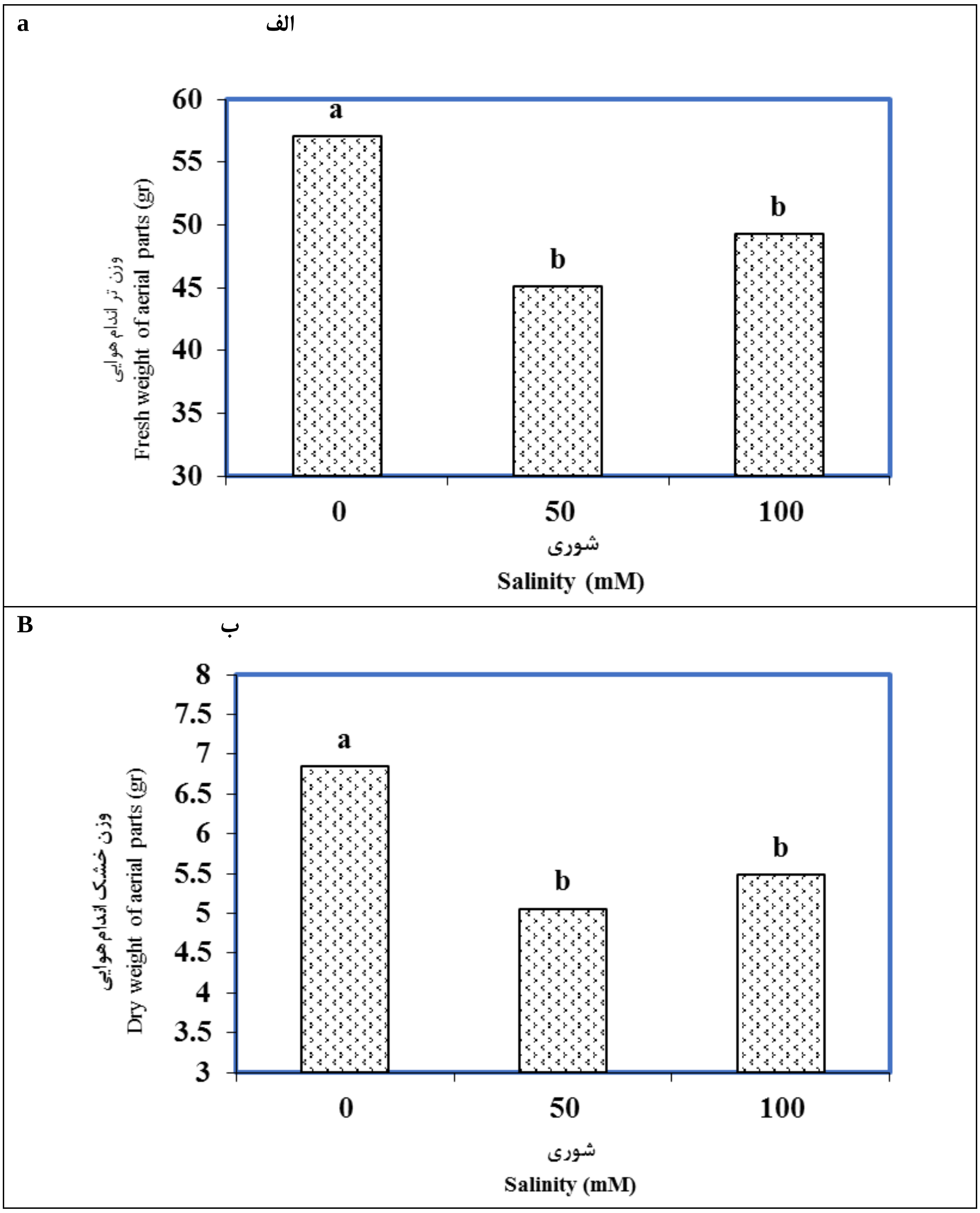
Table 3- Effect of salicylic acid and humic acid on Number of leaf in pepper

تیمارها Treatments		اسید هیومیک Humic Acid (gl^{-1})	
		0	5
	0	42.66^{b}	40.11^{c}
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	1	35.66^{d}	34.44^{d}
	2	32.22^{e}	46.88^{a}

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

همچنین بیشترین محتوی آهن ریشه در بوته هـای فلفـل تیمـار شده با سالسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار و شوری ۵۰ میلی‌مولار مشـاهده گردید (جدول ۸). نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد کـه اثـر سالسیلیک‌اسید، هیومیک‌اسید و شـوری بـر محتـوی کلسـیم بـرگ و ریشه گیاه فلفل معنی‌دارگردیـد (جـدول ۶). بیشـترین میـزان کلسـیم برگ در فلفل‌های تیمـار شـده بـا سالسـیلیک‌اسـید ۲ میلـی‌مـولار و هیومیک اسید ۵ گرم در لیتر به مقـدار ۹/۳۸ درصـد مـاده خشـک در مقاسه با سایر تیمارها بدسـت آمـد (جـدول ۹). همچنـین بـا کـاربرد هیومیک اسید ۵ گرم در لیتر و سالسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار در سـطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شاهد بیشترین میزان کلسیم ریشه در مقایسـه با سایر تیمارها بدست آمـد (جـدول ۱۰). نتـایج بدسـت آمـده از ایـن پژوهش نشان داد که اثر شوری و هیومیک‌اسـید بـر غلظـت پتاسـیم برگ و ریشه گیاه فلفل معنی‌دار گردید (جدول ۶).

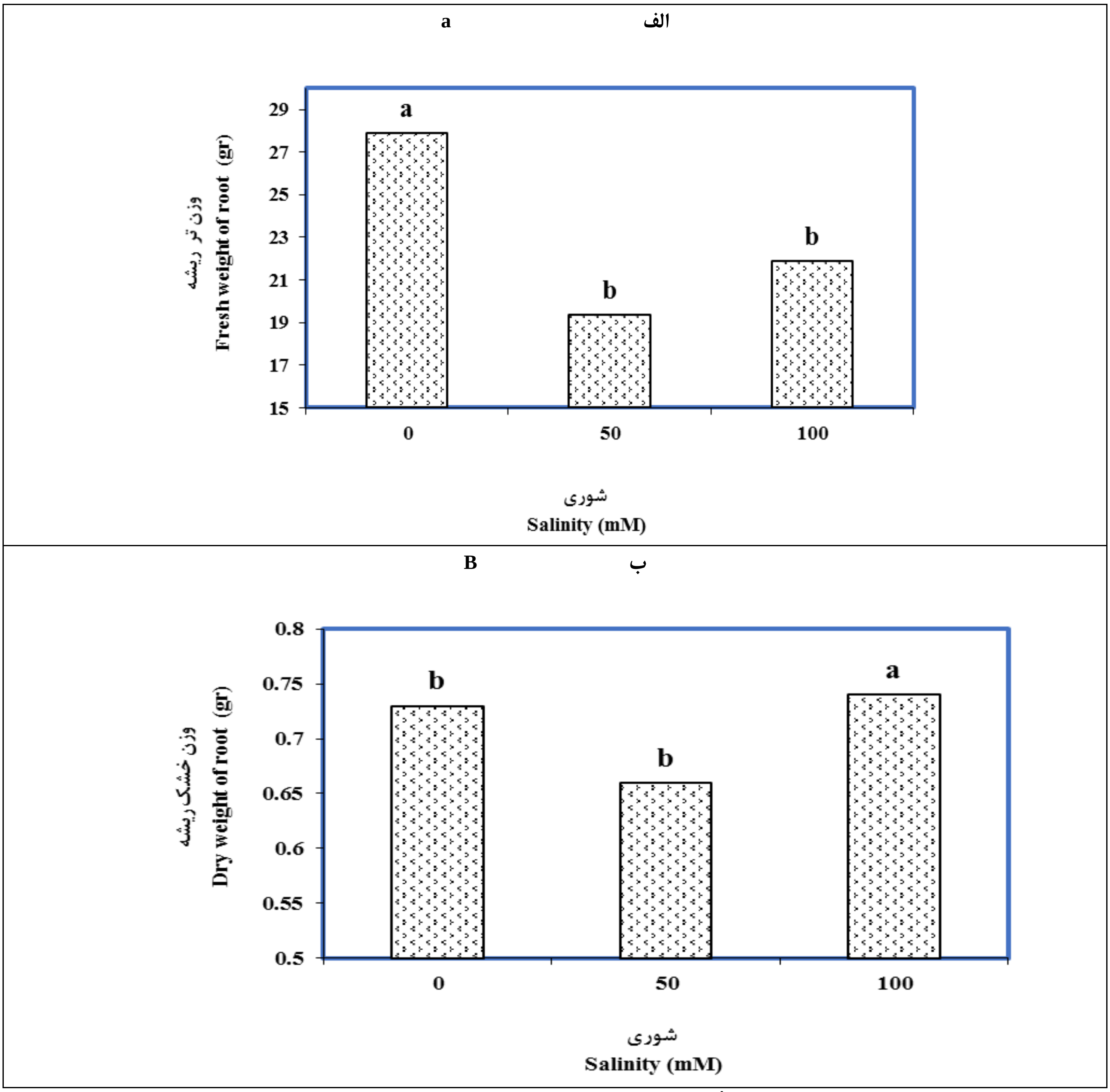


شکل ۲- تأثیر شوری بر وزن تر (الف) و خشک (ب) اندام هوایی فلفل دلمه‌ای

Figure 2- Effect of salinity on fresh (a) and dry weight (b) of arial parts of bell pepper (Tukey, p≤0.05)

کاربرد سالسیلیک‌اسید ۱ و ۲ میلی‌مولار باعث افزایش غلظت کلسیم برگ و ریشه گیاه فلفل گردید. بیشترین غلظت پتاسیم برگ گیاه در گیاهان فلفل تیمار شده با سالسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار و هیومیک‌اسید ۵ در هزار در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده گردید (جدول ۱۱). بیشترین میزان پتاسیم ریشه در گیاهان تیمار شده با هیومیک اسید ۵ گرم در لیتر و سالسیلیک‌اسید یک میلی‌مولار در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با سایر تیمارها بدست آمد (جدول ۱۲). نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که اثر شوری و هیومیک‌اسید بر غلظت سدیم برگ گیاه فلفل معنی‌دار گردید (جدول ۶). کاربرد هیومیک‌اسید و سالسیلیک-اسید باعث افزایش غلظت سدیم برگ گیاه گردید. بیشترین غلظت سدیم برگ گیاه در گیاهان فلفل تیمار شده با سالسیلیک‌اسید یک

میلی‌مولار و هیومیک‌اسید ۵ در هزار و در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده گردید (جدول ۱۳). بیشترین میزان پتاسیم ریشه در گیاهان تیمار شده با هیومیک اسید ۵ گرم در لیتر و سالسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها بدست آمد (جدول ۱۴).



شکل ۳- تأثیر شوری بر وزن تر (الف) و خشک (ب) ریشه فلفل دلمه‌ای

Figure 3- Effect of salinity on root fresh (a) and dry weight (b) of bell pepper (Tukey, p≤0.05)

بحث

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش تعداد برگ، گل و عملکرد فلفل گردید بطوری‌که با افزایش میزان شوری تعداد برگ کاهش پیدا کرد. اما کاربرد هیومیک اسید و اسید سالسیلیک باعث افزایش تعداد برگ، گل و عملکرد فلفل گردید. کاهش رشد ریشه و اندام هوایی در شرایط شوری ممکن است به علت تجمع زیاد یون سدیم در گیاه و در نتیجه کاهش فرآیندهای

آنزیمی و سنتز پروتئین باشد (۴۱). نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که کاربرد هیومیک اسید و اسیدسالسیلیک باعث افزایش تعداد میوه گیاه فلفل در شرایط تنش شوری گردید. همچنین افزایش شوری باعث کاهش تعداد میوه فلفل گردید ولی کاربرد اسیدهیومیک و اسیدسالسیلیک تاحدودی توانست اثرات منفی شوری را کاهش دهد ولی این تاثیر معنی‌دار نبود. عملکرد گیاه فلفل نیز تحت تاثیر شوری قرار گرفت بطوریکه با افزایش سطح شوری میزان عملکرد گیاه فلفل کاهش پیدا نمود ولی کاربرد اسید هیومیک ۵ در هزار و اسید سالسیلیک ۲ میلی‌مولار توانست میزان عملکرد را در شرایط شوری بهبود ببخشد. شوری باعث کاهش شدت سبزینگی برگ فلفل گردید اما کاربرد اسید هیومیک و اسید سالسیلیک باعث افزایش شدت سبزینه برگ در شرایط تنش شوری گردید. تنش شوری باعث تخریب کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. کاهش میزان کلروفیل برگ می‌تواند به دلیل عدم ساخته شدن کلروفیل و افزایش هورمون اتیلن در شرایط تنش باشد. بنابراین کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوی می‌تواند هم به دلیل کاهش سنتز آن و هم به به دلیل افزایش تخریب و تجزیه کلروفیل باشد (۲۴). در این پژوهش افزایش شوری باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه فلفل گردید اما کاربرد هیومیک اسید باعث بهبود وزن تر گیاه فلفل گردید. بیشترین وزن تر گیاه فلفل در گیاهان تیمار شده با اسید هیومیک ۵ در هزار و اسید سالسیلیک یک میلی‌مولار بدون تنش شوری در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده گردید. تنش شوری موجب کاهش پارامترهای رشد گیاه فلفل گردید. کاهش رشد در تنش شوری در گیاهان مختلف به وسیله بسیاری از محققان گزارش شده است (۲۵، ۲۶، ۳۰ و ۳۹). سالیسیلسک اسید از طریق فعال‌سازی مسیرهای بیوشیمیایی، جذب مواد غذایی، تعادل آب و فعالیت روزنه‌ها و تعادلی که بین شرایط اسمزی گیاه و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی آن به وجود می‌آید باعث مقاومت در برابر شرایط شوری و افزایش رشد گیاه می‌گردد (۱۷).

جدول ٤- تأثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر تعداد گُل و میوه گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 4- The effect of salicylic acid and humic acid on number of flower and fruit in bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0				50				100			
		اسید هیومیک Humic Acid (gl^{-1}) 0		5		اسید هیومیک Humic Acid (gl^{-1}) 0		5		اسید هیومیک Humic Acid (gl^{-1}) 0		5	
		تعداد گُل Flower No.	تعداد میوه Fruit No.	تعداد گُل Flower No.	تعداد میوه Fruit No.	تعداد گُل Flower No.	تعداد میوه Fruit No.	تعداد گُل Flower No.	تعداد میوه Fruit No.	تعداد گُل Flower No.	تعداد میوه Fruit No.	تعداد گُل Flower No.	تعداد میوه Fruit No.
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	0	10.6 bd	5.3 ad	11.6 bd	9 a	7.3 d	4.3 ad	9.6 cd	2.3 d	10.3 bd	4.6 ad	10.3 bd	6.3 ac
	1	11 bd	5.5 ad	14,3 ac	8.6 ab	13 bd	6.6 ac	17 ab	6.3 ac	8.6 cd	4.3 bd	16.3 ab	4 cd
	2	8.6 cd	6.6 ac	22.6 a	5 ad	8.3 cd	4 cd	14.6 ac	5.3 ad	9 cd	4.1 cd	15 ac	6.3 ac

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۵- تاثیر سالسیلیک‌اسید و هیومیک‌اسید بر عملکرد (گرم/بوته) گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 5- The effect of salicylic acid and humic acid on yield of bell pepper ($gplant^{-1}$) under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0		50		100	
		Humic اسید هیومیک Acid (gl^{-1}) 0	5	Humic اسید هیومیک Acid (gl^{-1}) 0	5	Humic اسید هیومیک Acid (gl^{-1}) 0	5
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	0	41.6 ad	52.8 ad	33.6 ad	22.1 d	23.9 d	38.6 ad
	1	25.7 bd	54.4 a	30.7 ad	29.1 ad	25.4 cd	24.5 d
	2	50.6 ac	38.4 ad	19.5 d	37.7 ad	26.9 bd	33.9 sd

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر سالسیلیک اسید وهیومیک اسید بر جذب عناصر معدنی در گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 6- ANOVA of the effect of salicylic acid and humic acid on minerals absorption in bell pepper under salt stress

منابع تغییرات Source of varuations	درجه آزادی df	آهن شاخه Fe (arial parts)	کلسیم شاخه Ca (arial parts)	پتاسیم شاخه K (arial parts)	سدیم شاخه Na (arial parts)
تکرار Replication	2	1450.17 **	630.18 **	2003.93 **	980.82 **
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (A)	2	2384.02 **	1578.96 **	749.65**	52790.63 **
هیومیک اسید Humic Acid (B)	1	2384.02 **	1578.96 **	749.65 **	52790.63 **
A×B	2	5293.26 **	2934.05 **	29767.33 **	35717.68 **
شوری Salt (C)	2	44367.07 **	11763.47 **	29767.33 **	35717.68 **
A×C	4	8599.37 **	2885.24 **	3232.32 **	5699.44 **
B×C	2	18510.63 **	661.69**	9962.65**	1759.02**
A×B×C	4	16714.08 **	4185.25**	197.99**	1167.44 **
خطا Error	34	31.55	18.55	51.97	22.03
ضریب تغییرات CV %		1.69	2.27	2.7	1.53

ns, * and **: Non significant, Significant at the 5% and 1% probability levels using Tukey test, respectively.

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد آزمون توکی می‌باشد.

ادامه جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سالسیلیک اسید وهیومیک اسید بر جذب عناصر معدنی در گیاه فلفل دلمه¬ای تحت تنش شوری

Continue of Table 6- ANOVA of the effect of salicylic acid and humic acid on minerals absorption in bell pepper under salt stress

منابع تغییرات Source of varuations	درجه آزادی df	آهن ریشه Fe (root)	کلسیم ریشه Ca (root)	پتاسیم ریشه K (root)	سدیم ریشه Na (root)
تکرار Replication	2	1746.68**	5357.57**	1127.11**	1713.96**
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (A)	2	84793.7**	22969.93**	56652.93**	41678.86**
هیومیک اسید Humic Acid (B)	1	48984.75**	59826.77**	208718.39**	42830.21**
A×B	2	21050.71**	96212.43**	347746.57**	11851.18**
شوری Salt (C)	2	168770.05**	27880.24**	41323.07**	161110.21**
A×C	4	14101.81**	55106.59 **	41726.22**	35701.03**
B×C	2	3094.93**	23957.95**	46583.81**	51763.14**
A×B×C	4	34731.73**	18320.82**	20430.43**	34018.93**
خطا Error	34	18.9	28.41	18.32	19.96
ضریب تغییرات CV %		0.78	0.65	0.59	0.62

ns, * and **: Non significant, Significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۷- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت آهن (میلی‌گرم/ کیلوگرم ماده خشک) در برگ گیاه فلفل تحت تنش شوری

Table 7- Interaction effect of salicylic acid ×humic acid on Fe concentration (mg kg^{-1} DM) in leaf of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0		50		100	
		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})	
		0	5	0	5	0	5
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	0	270.2 ij	270.5 i	380.4 g	394.7 cd	502.1 a	258.9 jk
	1	288 h	256.8 jk	246.3 k	312.6 g	402.1 bc	384.3 d
	2	264 ij	322.1 g	410.5 b	268.4 e	354.7 f	358.9 ef

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۸- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت آهن (میلی‌گرم/ کیلوگرم ماده خشک) در ریشه گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 8- Interaction effect of salicylic acid × humic acid on Fe concentration (mg kg^{-1} DM) in root of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0		50		100	
		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (gl^{-1})	
		0	5	0	5	0	5
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	0	474.7 kl	470.5 l	514.7 i	608.4 e	708.4 e	622.1 d
	1	480.6 j	262.1 n	448.4m	482.1k	604.2 e	574.7 f
	2	486ih	526.3 h	804.2 a	572.6 f	738.9 b	552.6 g

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۹- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت کلسیم (درصد ماده خشک) در برگ گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 9- Interaction effect of salicylic acid × humic acid on Ca concentration (% DM) in leaf of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0		50		100	
		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})	
		0	5	0	5	0	5
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	0	1.9 de	1.22 k	1.68 gh	1.72 fg	2.08 e	2.42 b
	1	1.56 i	2.18 b	1.82 ef	1.94 d	2.04 c	1.72 fg
	2	1.42 j	1.9 d	1.62 hi	2.06 c	2.44 b	9.38 a

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

تغییر دادن پارامترهای فیزیولوژیک از قبیل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، تجمع پرولین و کاهش نشت الکترولیت در گیاه فلفل تحت تنش شوری با کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید گزارش شده است(۵). سالیسیلیک اسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی، گیاه را از صدمات به دست آمده از واکنش‌های اکسیداتیو حفظ می‌کند. همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید میزان پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد که می‌تواند به یکپارچگی و حفظ غشا تحت شرایط تنش خشکی کمک کند (۲۸). افزایش گل‌دهی توسط اسید سالیسیلیک را می‌توان به فعالیت فلوریژنی که باعث انگیزش گلدهی شوند، نسبت

داد (۱۵). کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در شرایط شوری می‌گردد و می‌توانند تحمل گیاهان را نسبت به تنش شوری افزایش دهند و در نتیجه باعث بهبود رشد در شرایط شوری گردند، که نتیجه آن افزایش در وزن تر و خشک شاخساره است (۹). افزایش متابولیسم دی اکسیدکربن و میزان فتوسنتز با کاربرد اسید سالسیلیک نیز گزارش شده است (۲۲). برخی پژوهشگران از کارایی سالسیلیک اسید به عنوان یک تنظیم کننده رشد گیاهی بالقوه جهت بهبود رشد و عملکرد گیاه فلفل تحت تنش شوری گزارش داده‌اند (۵). نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که کاربرد هیومیک اسید و اسید سالسیلیک باعث افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم، پتاسیم، آهن و سدیم در برگ و ریشه گیاه فلفل در شرایط تنش شوری گردید. شوری بر روی جذب سایر عناصر غذایی به طور مستقیم تأثیرگذار است. همبستگی مثبت بین افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه و افزایش مقدار یون سدیم در بافت های گیاهی توسط آگراول و همکاران (۱) گزارش شده است.

جدول ۱۰- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت کلسیم (درصد ماده خشک) در ریشه گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 10- Interaction effect of salicylic acid × humic acid on Ca concentration (% DM) in root of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0		50		100	
		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})	
		0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	**0**	4.24 m	7.34 ij	9.22 e	9.86 b	8.34 g	10.34 a
	1	8.1 h	7.3 i	8.56 f	8.04 h	10.34 a	8.84 e
	2	6.12 l	7.42 i	9.16 c	8.58 f	6.64 k	9.02 d

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۱۱- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت پتاسیم (درصد ماده خشک) در برگ گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 11- Interaction effect of salicylic acid × humic acid on K concentration (% DM) in leaf of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0		50		100	
		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})	
		0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
سالسیلیک اسید(میلی مولار) Salicylic Acid (mM)	**0**	2.92 d	2.04 ij	2.58 e	2.22 gh	3.32 a	2.32 fh
	1	2.02 j	2.06 ij	2.3 fh	3.08 cd	3.3 a	3.1 bc
	2	2.36 fg	2.42 f	2.18 hi	3.14 bc	2.3 a	3.26 ab

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است

جدول ۱۲- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت پتاسیم (درصد ماده خشک) در ریشه گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 12- Interaction effect of salicylic acid × humic acid on K concentration (% DM) in root of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity (mM) 0		50		100	
		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid (g l^{-1})	
		0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	**0**	7.82 h	4.94 m	8.22 f	6.22 k	8.42 e	4.88 m
	1	9.82 b	4.48 n	7.96 g	6.02 l	10.01 a	8.72 c
	2	6.3 j	7.32 i	6.04 i	8.62 d	5.98 l	8.28 f

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۱۳- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت سدیم (میلی‌گرم/ کیلوگرم ماده خشک) در برگ گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 13- Interaction effect of salicylic acid × humic acid on Na concentration (mg/kg DM) in leaf of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		Different levels of Salinity سطوح مختلف شوری					
		0		50 mM		100 mM	
		اسید هیومیک Humic Acid (g/l)		اسید هیومیک Humic Acid (g/l)		اسید هیومیک Humic Acid (g/l)	
		0	5	0	5	0	5
سالسیلیک اسید(میلی مولار) Salicylic Acid (mM)	0	238.9 jk	312.6 f	242.1 ij	286.3 h	314.7 ef	362.1 cd
	1	224.2 l	250.5 i	302.1 g	378.9 d	358.9 d	394.7 a
	2	228.4 kl	322.1e	250.5 i	370.5 bc	322.1 ef	362.1 cd

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۱۴- اثر متقابل سالسیلیک اسید × هیومیک اسید بر غلظت سدیم (میلی‌گرم/ کیلوگرم ماده خشک) در ریشه گیاه فلفل دلمه‌ای تحت تنش شوری

Table 14- Interaction effect of salicylic acid × humic acid on Na concentration (mg kg^{-1} DM) in root of bell pepper under salt stress

تیمارها Treatments		شوری Salinity					
		0		50		100	
		اسید هیومیک Humic Acid (gl^{-1})		اسید هیومیک Humic Acid ($g l^{-1}$)		اسید هیومیک Humic Acid (gl^{-1})	
		0	5	0	5	0	5
سالسیلیک اسید Salicylic Acid (mM)	0	914.7 b	614.7 ij	572.6 k	798.9 e	796.8 e	864.2 c
	1	554.7 l	578.9 k	604.2 ij	766.3 g	732.6 h	778.9 f
	2	530.5 m	622.1 i	738.9 h	794.7 e	818.9 d	952.6 a

In each column means with the same letters are not significantly different at 5% of probality level using Tukey test.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد است.

دانشمند و همکاران (۱۱) گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید نیم میلی‌مولار مقدار سدیم را در گیاهان تحت تنش کاهش داد و غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم را افزایش داد. البته کاهش مقدار سدیم و همچنین احتمال افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی می تواند اثرات مثبت سالیسیلیک اسید را بر رشد گیاهان تحت تنش شوری توجیه نماید. اما جنوس و همکاران (۱۶) گزارش کردند که سالیسیلیک اسید موجب افزایش کاتیون‌ها ازجمله پتاسیم در گیاهان ذرت در تنش‌های مختلف گردیده است. در این مطالعه کاربرد سالیسیلیک اسید منجر به کاهش معنی‌دار مقدار یون سدیم در گیاهان تحت تنش گردید. جذب بالای آهن و روی با یافته های سانچز-سانچز و همکاران (۳۵) مطابقت داشت. افزایش جذب میزان فسفر توسط ریشه و افزایش غلظت نیتروژن آلی در دمبرگ و برگ‌های مسن با افزایش شوری توسط ساواس و لنز (۳۶) گزارش شده است. در این پژوهش کاربرد هیومیک اسید به همراه اسید سالسیلیک باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه فلفل تحت تنش شوری گردید. اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتز گیاه می‌شود (۱۳).

هیومیک اسید به دلیل افزایش جذب عناصر معدنی باعث رشد اندام هوایی گیاه می‌شود. هیومیک اسید از طریق گسترش سیستم ریشه، افزایش نفوذپذیری غشای سلول، افزایش ظرفیت جذب عناصر غذایی در ریشه و در نهایت بهبود انتقال و جذب عناصر غذایی باعث افزایش جذب عناصر غذایی و غلظت آن در اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد (۳۸). تأثیر اسید هیومیک بر بهبود جذب عناصر معدنی در شرایط تنش شوری توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (۷ و ۴۴). محمد (۲۷) افزایش جذب عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، آهن و روی را در گیاه ذرت تحت تنش شوری با مصرف اسید هیومیک گزارش نموده است. در پژوهشی محتوی سدیم ریشه و شاخه فلفل با کاربرد هیومیک اسید در شرایط تنش شوری کاهش یافت و این پژوهشگران گزارش نمودند که دوزهای بالای هیومیک اسید اثر مثبتی بر تحمل به شوری دارند (۱۰). که با نتایج بدست امده در این آزمایش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

شوری یک عامل محیطی محدود کننده تولید محصول در گیاهان است و امروزه به عنوان یک مشکل روزافزون در کشاورزی مطرح است. از نتایج این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که شوری باعث کاهش پارامترهای رشدی گیاه فلفل گردید ولی کاربرد اسید سالسیسیلیک و هیومیک اسید توانست تحمل فلفل به شوری را افزایش داده و باعث بهبود خصوصیات رویشی و زایشی و میزان جذب عناصر معدنی در گیاه فلفل تحت تنش شوری گردد. بنابراین کاربرد هیومیک اسید ۵ در هزار و اسید سالسیلیک ۲ میلی‌مولار به جهت کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه فلفل پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی (کد طرح: ۵۱۲۰۴۹۲۰۴۰۴۰۰۱) می‌باشد که از محل بودجه طرح‌های تحقیقاتی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج تامین اعتبار گردیده است که بدین‌وسیله تشکر می‌گردد. همچنین از سرکار خانم مهندس فریما یوسفی و آقای مهندس مهدی دستیاران جهت کمک در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد. با توجه به فوت نمودن همکار عزیزمان جناب آقای غضنفر محمدی نیا نویسنده سوم مقاله جهت شادی روح آن مرحوم رحمه الله من یقرا الفاتحه مع الصلوات.

منابع

1- Agarawal S,. Sairam R.K., Srivasta G.C., and Meena R.C. 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biologia Plantarum 49(4): 541-550.

2- Ali Ahmadi H., Jahantighi H., and Rostami H. 2004. Study on yield of sweet, green and salad pepper cultivars in sistan. Seed and Plant 20(2): 259-262. (In Persian with English abstract)

3- Ameri A., and Tehranifar A. 2012. Effect of Humic acid on nutrient uptake and physiological characteristic *Fragaria ananassa* var: Camarosa. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 6(16): 77-79.

4- Amir J., Eshghi S., Tafazoli E., Abbaspour N. 2015. Growth and photosynthesis of two cultivars of grapevine (*Vitis vinifera* L.) in response to salicylic acid application under salinity. Journal of Crop Production and Processing 5(17): 15-29. (In Persian with English abstract)

5- Amirinejad A.A., Sayyari M., Ghanbari F., and Kordi S. 2017. Salicylic acid improves salinity-alkalinity tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). Advance in Horticultural Science 31(3): 157-163.

6- Amirjani M.R. 2010. Effect of NaCl on some physiological parameters of rice. European Journal of Biological Science 3(1): 06-16.

7- Aşık B.B., Turan M.A., Çelik H., and Katkat A.V. 2009. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake wheat (*Triticum durum* Salihli) under conditions of salinity. Asian Journal Crop Science 1:87–95.

8- Barzegar Hafshejani Z., Mobli M., Khoshgoftarmanesh A., and Abedi-Koupai J. 2015. The effects of adding pumice and bentonite to sawdust substrate on growth and productivity of greenhouse-grown bell pepper. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 6 (1): 77-85. (In Persian with English abstract)

9- Bayat H., Alirezaie M., and Neamati H. 2012. Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8(1): 258-267.

10- Çimrin K.M., Türkmen Ö., Turan M., and Tuncer B. 2010. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. African Journal of Biotechnology 9(36): 5845-5851.

11- Daneshmand F., Arvin M.J. and Keramat B. 2014. Salicylic acid induced changes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress. Journal of Plant Research 27(2): 204-215.

12- Dastyaran M., and Hosseini Farahi M. 2015. Effects of humic acid and puterscine on vegetative properties and vase life of rose in soilless culture system. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 5 (4):241-250. (In Persian with English abstract)

13- Delfine S., Tognetti R., Desiderio E., and Alvino A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for Sustainable Development 25: 183-191.

14- El-Tayeb M.A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Journal of Plant Growth Regulators 45: 215-225.

15- Eshghi S., Moharami S., and Jamali B. 2017. Effect of salicylic acid on growth, yield and fruit quality of strawberry cv. 'Paros' under salinity conditions 7(4): 163-174. (In Persian with English abstract)

16- Gunes A., Inal A., Alpaslan M., Cicek N., Guneri E., Eraslan F., and Guzelorda T. 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). Archives of Agronomy and Soil Science 51: 687-695.

17- Habibi Sharafabad M., Hosseini Farahi M., Didgah S.K. 2017. Effect of salicylic acid and humic acid on quantitative and qualitative properties of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Goldi). Journal of Science and

Technology of Greenhouse Culture 8(2): 49-65. (In Persian with English abstract)

18- Hayat Q., Hayat S., Irfan M., and Ahmad A. 2009. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Journal of Experimental Botany 68:14-25.

19- Hosseini Farahi M., Ameri Fahliani R., Yosefi F. 2015. Effects of humic acid and fertilizer containing calcium and boron (Calboron) on vegetative and reproductive properties of strawberry in soil-less culture system. Journal of Plant Ecophysiology 7(21): 235-250. (In Persian with English abstract)

20- Hosseini S., Hosseini Farahi M., Aboutalebi A., Jowkar M.M. 2017. Effect of different media substrate and humic acid on growth and nutrient absorption of soilless cultured cut rose flowers. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 8(2): 89-103. (In Persian with English abstract)

21- Hosseinifarahi M., Dastyaran M., and Yousefi F. 2017. Effect of polyameins (PAS) and humic acid (HA) on growth, yield and concentration of mineral elements in shoot and root of strawberry. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 18(2): 209-220. (In Persian with English abstract)

22- Jamali B., Eshghi S., and Tafazoli E. 2013. Vegetative growth, yield, fruit quality and fruit and leaf composition of strwberry cv. ‘Pajaro’ as influenced by salicylic acid and nickel sprays. Journal of Plant Nutrition 36: 1043-1055.

23- Jamali S., Sharifan H., and Sajadi F. 2018. Investigation the use of irrigation by caspian seawater on sweet pepper (*Capsicum annum*) under greenhouse conditions. Journal of Water and Soil Conservation 25(1): 243-256. (In Persian with English abstract)

24- Kamali M., Kharazi S.M., Selahvarzi Y., and Tehranifar A. 2012. Effect of salicylic acid on growth and some morfophysiologic of (*Gomphrena globosa* L.) in salt stress condition. Journal of Horticultural Science 26(1): 104-112. (In Persian with English abstract)

25- Khoshbakht D., Ramin A.A., Baghbanha M.R. 2012. Possible reduction of the ffect of salinity on bean (*Phaseolus vulgaris*) with application of salicylic acid. Journal of Crop Production and Processing 2(5):189-200. (In Persian with English abstract)

26- Kiarostami KH., Abdolmaleki N., and Haydari M. 2012. Study the effect of salicylic acid on reduce salt stress in canola (*Brassica napus* L.). Journal of Plant Biology 4(12): 69-82.

27- Mohamed W.H. 2012. Effects of humic acid and calcium forms on dry weight and nutrient uptake of maize plant under saline condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 6: 597–604.

28- Nemeth M., Janda T., Hovarth E., Paldi E., and Szali G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science 162: 569-574.

29- Qados A.M.A. 2015. Effects of salicylic acid on growth, yield and chemical contents of pepper (*Capsicum Annuum* L.) plants grown under salt stress conditions. The International Journal of Agriculture and Crop Sciences 8(2): 107-113.

30- Raghami M., Estaji A., Bagheri V., and Aryakia E. 2016. Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphophysiological characteristics of eggplant (*Solanum melongena* var. Taki) in soilless culture. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 7(3):77-87. (In Persian with English abstract)

31- Rajaravindran M., and Natarajan S. 2012. Effects of salinity stress on growth and antioxidant enzymes of the halophyte *Sesuvium portulacastrum*. International Journal of Research in Biological Sciences 2(1): 18-25.

32- Sajjadi F., Sharifan H., Hezarjaribi A., and Ghorbani-e-Nasrabad GH. 2016. The effect of salinity stress and over irrigation on yield and yield components of green pepper. Journal of Water and Irrigation Management 6(1): 89-100. (In Persian with English abstract)

33- Salarian M., Alizadeh A., Davari K., and Ansari H. 2018. Water and salinity stress on morphological characteristics, quality and quantity of sweet pepper in smart drip irrigation system. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 11(6): 322-336. (In Persian with English abstract)

34- Saleh B. 2013. Water status and protein pattern changes towards salt stress in cotton. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 9(1): 113-123.

35- Sanchez- Sanchez A., Sanchez-Andreu J., Juarez M., Jorda J., and Bermudez D. 2002. Humic substances and amino acids improve effectiveness of chelate FeEDDHA in lemon trees. Journal of Plant Nutrition 25: 2433-2442.

36- Savvas D., and Lenz F. 2000. Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. Scientia Horticulture 84: 37-47.

37- Sevengor S., Yasar F., Kusvuran S., and Ellialtioglu S. 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. African Journal of Agricultural Research 6(21): 4920- 4924.

38- Sharif M., Khattak R.A., and Sarir M.S. 2002. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33(19-20): 3567-3580.

39- Shayesteh N., Golchen A., and Shafe S. 2012. The Effects of irrigation water salinity, nitrogen and foliar application of calcium chloride on yield and growth indices of pepper. Journal of Agricultural Engineering, 34(2): 69-84.

40- Sönmez F., and Gülser F. 2016. Effects of humic acid and Ca $(NO_3)2$ on nutrient contents in pepper (*Capsicum annuum*) seedling under salt stress. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science 66(7): 613-

618.
41- Tester M., and Davenport R. 2003. Na tolerance and Na transport in higher plants. Annals of Botany 91: 503-527.
42- Topuz A., and Ozdem F. 2007. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbicacid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. Journal of Food Composition and Analysis 20: 596-602.
43- Trevisan S., Pizzeghello D., Ruperti B., Francioso O., Sassi A., Palme K., Quaggiotti S., and Nardi S. 2009. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis. Biologia Plantarum 12: 604-614.
44- Türkmen Ö., Demir S., Şensoy S., and Dursun A. 2005. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper growth under saline soil conditions. Journal of Biological Sciences 5: 568–574.
45- Yildirim E., Turan M., and Guvenc I. 2008. Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber grown under salt stress. Journal of Plant Nutrition 31: 593- 612.
46- Zarea Bavany MR., Peyvast GH., Ghasemnezhad M., and Forghani A. 2016. Evaluation of salt tolerance in commercial pepper cultivars at the seedling stage. Journal of Crops Improvement 17(4): 893-909. (In Persian with English abstract)
47- Ziaf K., Amjad M., Aslampervez M., Iqbal Q., Rajwana IA., and Ayyub M. 2009 Evaluation of different growth and physiological traits as indices of salt tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). Pakistan Journal of Botany 41(4): 1797-1809.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.1, Spring 2020, P. 91-106
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۶-۹۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Improvement of Salt Tolerance and Nutrient Absorption in Pepper (*Capsicum annum*) Through Application of Salicylic Acid and Humic Acid

M.K. Shefazadeh Shahrebabki[1]*- M. Hosseinifarahi[2]- Gh. Mohamadineia[3]
Received: 24-04-2019
Accepted: 22-01-2020

Introduction: Bell pepper (*Capsicum annuum*) belongs to solanaceae family, which is cultivated and consumed in the world due to its high economic value. Bell peppers also have valuable nutritional and medicinal compounds, including natural colors, antioxidants and vitamins A, B and E. Salinity stress is one of the most important environmental factors limiting growth, which has very adverse effects on plant growth and yield. Salinity stress reduced the yield of agricultural products due to the effect on the competitive absorption and transfer of nutrients in the plant. Nowadays, the increased tolerance of plants to environmental stresses from different pathways involve breeding programs and the use of plant growth regulators and organic substances. In comparison to breeding methods that are often long-term and cost-intensive, it is easy and inexpensive to use plant growth regulators such as Salicylic Acid (SA) and humic acid (HA).

Material and Methods: To investigate the effect of Salicylic Acid (SA) and Humic Acid (HA) on the improvement of tolerance to salinity and absorption of mineral elements under salinity stress in greenhouse culture, a factorial experiment based on Randomized Complete Block Design (RCBD) was conducted in Yasooj. The first factor was SA in three levels (0, 1, and 2 mM), the second factors HA in two levels (0 and 5 g l^{-1}), and the third factors salinity in three levels (0, 50, and 100 mM). The bell pepper seedlings cv. California were obtained from a commercial producer and planted in 4-liter plastic pots containing perlite and cocopeat (1:1) in 2015. Plants were grown in a hydroponic greenhouse with day/night temperature (24.3 and 15.4 ^{o}C) and 60 to 80% RH in the village of Nahrgah in Yasouj. After the plants were established (having about 4–5 leaves), sodium chloride salt was used in the concentrations of 0, 50, and 100 mmol in the nutrient solution for salinity stress. To prevent a sudden shock, the first one week all the pots were irrigated with a 10 mM-food solution and in the second week with a 25 mM salt solution. After that, the plants irrigated 50 and finally 100 mg of sodium chloride. Traits such as plant height, number of leaves, number of flowers, number of fruits, and average fruit weight, and yield, fresh and dry weight of leaf were measured. The content of K, Ca, Fe and Na elements in the leaves and roots of treated and untreated plants were measured by an atomic absorption device equipped with a graphite furnace system. Data analysis (ANOVA) was performed using MSTAT-C statistical software. The means were compared with the Tukey test ($P \leq 0.05$) and the graphs were plotted with Excel.

Results and Discussion: Results showed that the salinity has negative effects on growth factors. The application of HA and SA reduced the negative effects of salinity and increased growth parameters. The application of HA and Salicylic acid increased the number of pepper fruits under salt stress conditions. The highest number of fruits was obtained in the plants treated with 5 g l^{-1} HA and 2 mM salicylic acid compared to the other treatments. The results of this experiment showed that the application of HA and Salicylic acid had a significant effect on the content of mineral elements in the leaves and roots of sweet peppers under salt stress. The highest amount of Fe was observed in the leaves of pepper plants treated with 100 mM and the lowest in untreated plants. The highest amount of leaf calcium was obtained in peppers treated with SA 2 mM and HA 5 g l^{-1} in comparison to other treatments. Application of SA 1 and 2 mM increased the concentration of calcium of the leaves and roots of the pepper plant. The highest root potassium were obtained in plants treated with 5 g l^{-1} HA and 1mM SA at salinity level of 100 mM in comparison to the other treatments.

Conclusion: Salinity is an environmental factor limiting the production of crops in plants. According to the results of present study, it can be concluded that salinity reduced the growth parameters of the bell pepper plant. The use of SA and HA increased bell pepper tolerance to salinity and improved the vegetative and reproductive characteristics and absorption of mineral elements. Therefore, the application of HA 5 g l^{-1} and 2 mM SA is suggested to reduce the negative effects of salinity stress on bell pepper.

Keywords: Ca, Fe, Fruit, K, Yield

1 and 3- Instructors, Department of Agronomy, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
(*- Coresponfing Author Emal: shefazadeh@gmail.com)
2- Assistant Professor, Department of Horticulture Science, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran